

С. М. Васильев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]. – 2015. – № 106. – С. 568–579. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2015/02/pdf/35.pdf>.

11 Технология орошения животноводческими стоками / А. М. Буцыкин, В. Г. Луцкий, А. Г. Пономаренко, Л. П. Рева. – М.: Агропромиздат, 1987. – 160 с.

12 Мусийчук, Н. С. Мелиоративное состояние земель при орошении сточными водами животноводческих комплексов и пути улучшения экологической обстановки / Н. С. Мусийчук, В. И. Шмаков // Хозяйственно-питьевые и сточные воды. Проблемы использования и очистки: сб. науч. тр. – Пенза, 1996. – С. 63–67.

13 Гостищев, Д. П. Орошение сточными водами животноводческого комплекса в Ростовской области / Д. П. Гостищев // Ресурсосберегающие, экологически безопасные технологии мелиорации, рекультивации и охраны земель: материалы науч.-практ. конф. – Новочеркасск, 2004. – С. 43–47.

14 Морозов, Н. В. Проблема обеззараживания сточных вод животноводческих комплексов и возможные пути ее решения / Н. В. Морозов // Водные ресурсы. – 1983. – № 5. – С. 142–152.

УДК 621.67, 626.83

М. А. Шомайрамов, Ш. Г. Талипов, Н. Р. Насырова

Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем при Ташкентском институте инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, Ташкент, Республика Узбекистан

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ МАШИННОГО ВОДОПОДЪЕМА

В статье описаны существующие методы оценки риска при эксплуатации насосных агрегатов систем машинного водоподъема и их безопасности, даны новые зависимости для оценки риска аварии и их категории безопасности. Цель исследований – разработка основных мероприятий по повышению эффективности эксплуатации и безопасности сооружений и насосных агрегатов, ликвидации непроизводительных потерь электроэнергии, внедрению новых технологий эксплуатации, совершенствования конструкций основных сооружений напорного бассейна и водовыпусков с переходными процессами.

Ключевые слова: надежность, безопасность, эксплуатация, насосный агрегат, напорный трубопровод, водовыпуск.

M. A. Shomayramov, Sh. G. Talipov, N. R. Nasyrova

Scientific Research Institute of Irrigation and Water Problems at Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, Tashkent, Republic of Uzbekistan

SAFETY AND SUSTAINABILITY IMPROVEMENT METHODS OF PUMP IRRIGATION SYSTEM OPERATION

The existing methods of risk assessment of pump units operation in pump irrigation systems and their safety are described; new dependencies to assess the risk of accidents and their safety categories are presented. The aim of the research is the development of basic measures to increase the operation and safety efficiency of facilities and pumping units, to eliminate nonproductive losses of electricity, to implement new technologies of operation, to improve the design of main structures of intake basin and outlets with transitional processes.

Key words: reliability, safety, operation, pump unit, pressure pipeline, water outlet.

Правильное и безопасное управление гидротехническими сооружениями (ГТС) насосных станций в Республике Узбекистан становится важной проблемой. Закон Республики Узбекистан «О безопасности гидротехнических сооружений» рассматривает их в первую очередь как потенциально опасные объекты для населения, окружающей среды и экономики страны. Существующие ГТС оросительных насосных станций (НС) систем машинного водоподъема (СМВ) страны по сроку службы подходят к этапу изношенных отказов. Для этого периода эксплуатации характерны возрастание интенсивности отказов и аварий, увеличение объемов ремонтных работ и работ по реконструкции и модернизации сооружений, конструкций и оборудования НС и, соответственно, увеличение затрат и расходов электрической энергии на единицу объема перекачиваемой воды.

Более трех десятилетий на многих республиканских международных форумах по гидравлическим исследованиям НС рассматривается широкий круг эксплуатационных вопросов, связанных с неблагоприятными условиями их работы.

Опыт эксплуатации крупных машинных каналов показывает, что до 29 % отказов в работе насосных агрегатов (НА) вызваны неблагоприятными гидравлическими процессами в сопрягающих сооружениях, перепадами уровня воды (УВ) в каналах.

Это усугубляется тем, что НС работает по графику с широким диапазоном подач, и многочисленные комбинации НА приводят к изменению структуры потока во всех элементах гидротехнического узла.

Рассмотрим некоторые технологические основы управления СМВ в аспекте безопасности [1].

Намеченные к реконструкции крупные СМВ по расходу, энерговооруженности, средствам управления являются крупнейшими в мире. Выход их из строя даже на незначительный промежуток времени может привести к огромным ущербам. Поэтому постановка и решение теоретических задач по эксплуатации этих объектов с учетом показателей надежности является исключительно важной народнохозяйственной задачей. До настоящего времени проектирование СМВ (в т. ч. крупных) велось без учета количественного показателя надежности и безопасности. Значение надежности и безопасности долгое время недооценивали, и исправление ошибок требовало значительных затрат.

Мероприятия по повышению надежности и безопасности должны основываться на накоплении опыта эксплуатации СМВ. Обработка статистических материалов по эксплуатируемым крупным СМВ и их элементам позволяет концентрировать соответствующие данные в такой форме, которая позволяет их использовать эксплуатационному персоналу. Анализ этих статистических данных дает возможность выработать соответствующие мероприятия, резко сокращая исследования, связанные с теорией вероятности и математической статистики.

Внимание, которое уделяется надежности в промышленности, в равной мере относится к объектам гидротехники. Можно отметить рост интереса в последнее время к надежности гидросооружений СМВ [2]. Сложность определения риска при эксплуатации НС, их безопасности и надежности обуславливается недостаточностью исходной информации о воздействиях и нагрузках, свойствах материалов и протекающих в них процессах, неполнотой сведений о поведении объекта на предыдущих стадиях его функционирования, практическим отсутствием информации о состоянии объекта после проведения ремонтно-восстановительных работ.

К важным особенностям НС при оценке риска и безопасности необходимо отнести учет единства конструктивной реализации единого агрегатного комплекса с взаимозависимостью и взаимовлиянием гидравлических процессов в сопрягающих узлах НС. Другая особенность НС – зависимость их безопасности и надежности функционирования от динамики гидравлических процессов, происходящих в гидромеханических системах: «проточная часть – насос», «насос – запорная арматура – напорный трубопровод – водовыпуск», что особенно важно для условий состояния каждого элемента

отдельно. В связи с этим целесообразны на начальном этапе сбор из доступных источников и анализ информации об авариях, отказах и дефектах, имевших место на длительно эксплуатируемых НС, частоте возникновения и влиянии на надежность и безопасность НС.

При исследовании безопасности НС точное описание отказов элементов и видов отказов занимает центральное место и с помощью метода дерева отказов выявляются виды отказов. На основе детального анализа возможных событий с помощью методов дерева отказов и дерева событий, а также последовательности опасных ситуаций определим элементы НС, которые подвергаются детальному анализу с целью исключения опасностей, приводящих к возникновению аварии [3].

При оценке риска, используя эксплуатационные или экспериментальные данные, строят графики временных зависимостей для элементов НС. Используя последние, определяют вероятностные параметры, характеризующие надежность элементов для полного цикла их работы.

К основным ГТС по проблемам водосбережения относят сооружения, разрушение которых приводит к нарушению нормальной работы НС (напорные трубопроводы, водовыпуски). К второстепенным сооружениям следует относить пазы ремонтных затворов, отбойные и регулиционные сооружения.

Класс ГТС разрешается повышать на единицу, если их разрушение сопровождается катастрофическими последствиями, или снижать на единицу, если катастрофические последствия не возникают.

Сезонность работы ирригационных НС позволяет снизить эксплуатационные требования, напорные трубопроводы могут быть уложены открыто, нет нужды предусматривать мероприятия по борьбе с шугой, обмерзанием решеток.

Определение их параметров проводится по параметрам НС. Основным параметром водосбережения является подача.

Кроме действительной существует понятие теоретической подачи, которая была бы возможна при отсутствии внутренних обратных утечек воды (перетекание из напорной части трубопроводов во всасывающую через конструктивные зазоры, клапаны и др.). Для сравнительной оценки этих утечек есть понятие объемного КПД (η_0):

$$\eta_0 = Q / Q_T,$$

где Q – действительная подача, м³/ч;

Q_T – теоретическая подача, м³/ч.

Коэффициент условий работы трубопроводов (K_3) определяется как функция уровня организации эксплуатации трубопроводов (op), а также оценки состояния объекта по степени его износа (I_3) и его причинам: гидравлическим (Γ), механическим (M), энергетическим (\mathcal{E}):

$$K_3 = f[op, I_3, \Gamma, M, \mathcal{E}]. \quad (1)$$

Изменения напора насоса под воздействием потерь воды, гидроабразивного износа и кавитационной эрозии его элементов и трубопроводов в процессе эксплуатации можно представить в виде произведения параметров:

$$H(t) = H_T(t) \cdot \eta_{об}(t) \cdot \eta_k(t) \cdot \eta_0(t), \quad (2)$$

где $H_T(t)$ – теоретический напор в функции от t , м;

$\eta_{об}(t)$ – объемный КПД насоса в функции от t ;

$\eta_k(t)$, $\eta_0(t)$ – КПД насоса и трубопроводов в функции от t .

Значения величин в формулах (2) и (1) находят, определяя рабочие точки на характеристиках насоса и трубопровода в соответствии с плановым графиком водоподдачи на планируемый период и режимом работы НС.

В формулах добавляется $\eta_{\text{тр}}$ – КПД трубопровода, учитывающий потери в напорном трубопроводе и на местных сопротивлениях.

Очевидно, что чем менее устойчива работа водохозяйственной системы, т. е. чем больше вероятность отказа, тем больший ущерб может быть нанесен народному хозяйству и большая величина затрат может потребоваться для его компенсации. С другой стороны, очевидно также, что путем придания системе больших коэффициентов запаса и улучшения ее обслуживания можно вероятность ее отказа существенно уменьшить, но для этого требуется больше капитальных вложений и эксплуатационных расходов. Поэтому должна существовать оптимальная величина вероятности отказа, которая соответствует минимуму суммы затрат на сооружение и эксплуатацию системы и затрат на компенсацию ущерба. Эту оптимальную вероятность отказа и предлагается принимать за оптимальную устойчивость работы системы.

Таким образом, под оптимальной устойчивостью функционирования водохозяйственной системы (СМВ) понимается такая вероятность ее отказа, которая соответствует минимуму суммарных затрат на ее создание, эксплуатацию и компенсацию возможного ущерба.

Оптимальная проектная надежность элемента или объекта определяется минимумом суммарных затрат на их создание и эксплуатацию с учетом возможных расходов на ликвидацию или компенсацию последствий отказа.

Режим работы СМВ – случайное событие и рассматривается как иерархическая структура.

Условие устойчивости проектного режима работы с представлением результатов по каждому функциональному режиму записывается в следующем виде:

$$P_S^i = B_{\text{ср}} \left\{ \begin{array}{l} X_1^H \leq Z_1 \leq X_1^B \\ X_2^H \leq Z_2 \leq X_2^B \\ \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\ X_j^H \leq Z_j \leq X_j^B \end{array} \right\},$$

где P_S^i – вероятность устойчивой работы по 1-му расчетному варианту проектного режима работы СМВ;

$B_{\text{ср}}$ – оператор вероятности;

X_j^H , X_j^B – нижний и верхний пределы изменения j -го проектного функционального режима;

Z – результат создания и поддержания j -го функционального режима.

Современные объекты СМВ представляют собой сложные системы, в состав которых входят механические, электрические и другие элементы.

Сифонные водовыпуски широко применяются при проектировании и эксплуатации крупных ирригационных НС, однако нет конкретных рекомендаций по проектированию, расчету и конструированию сифона НС с гидравлическими устройствами срыва вакуума (ГУСВ). Одним из основных вопросов, которые приходится решать при расчете и проектировании сифонных водовыпусков, является вопрос о распределении скоростей и давлений в его горловине и особенно в сечении, где подсоединяется ГУСВ. От характера распределения скоростей в горловине зависит пропускная способность сифонного водовыпуска и работа клапана срыва вакуума.

При исследованиях сифона НС «Шерабад» рекомендуется зависимость для распределения скоростей [3]:

$$v = v_m \frac{r_0}{r}, \quad (3)$$

где v_m – средняя скорость в горловине сифонного водовыпуска, м/с;

r_0 – радиус оси закругления, м;

r – радиус кривизны струйки, м.

Формула (3) получена из предположения, что поток имеет среднюю скорость по оси сечения. Принимая наш метод распределения скоростей, получаем скорость в рассматриваемой точке:

$$v = v_m \frac{\sqrt{r_1} + \sqrt{r_2}}{2\sqrt{r}}, \quad (4)$$

где r_1, r_2 – радиусы смежных исследованных струек в горловине сифона, м.

Исследования ГУСВ, проведенные авторами в натуральных условиях на НС «Шерабад», позволили определить величины перепадов горизонтов воды в каналах, при которых ГУСВ обеспечивают зарядку и разрядку сифонов.

Установка ГУСВ положительно сказалась на режиме пуска насоса, обеспечивала спокойный выход воздуха из трубопровода при заполнении его водой. В этом отношении новые ГУСВ при нестационарных режимах движения воды обладают существенными преимуществами перед другими конструкциями клапанов этого назначения [3].

Известно, что разрядка сифонных водовыпусков снижает эффективность работы НС. В сифонном водовыпуске НС при постоянном притоке воздуха, т. е. в случае отсутствия или неисправности ГУСВ, насос подает воду на отметку, определяемую высотой порога сифонного водовыпуска. При этом насос работает с повышенным напором, из-за чего подача его снижается с уменьшенной надежностью [4].

Модернизация водовыпускных сооружений, открытых трубопроводов, обратных клапанов, вантузов соответствует современным нормам проектирования НС и расчету сифонных водовыпускных сооружений [5].

Указанные методы одобрены при рассмотрении передовых основ эксплуатации НА на ирригационных системах специалистами тренинга по повышению квалификации специалистов НС с учетом требований устойчивости и безопасности работы в региональных условиях Республики Узбекистан.

Выводы

1 Современный этап развития машинного водоподъема характеризуется специалистами как период старения сооружений, оборудования и вполне обоснованно снижением безопасности НС.

2 Анализ публикаций в периодической технической литературе в пользу такого пути развития системы методов совершенствования безопасности и устойчивости эксплуатации СМВ подтвержден технической политикой США, Голландии и ряда других стран.

3 Из известных в настоящее время конструкций на водовыпусках НС наиболее надежным и простым в эксплуатации является ГУСВ. В НИИИВП ведется работа по совершенствованию ГУСВ, а результаты расчетов по формулам (3) и (4) достаточно точно совпадают с опытными данными, гарантируя определенный запас в расчетах колебания горизонтов воды верхнего бьефа. Результаты исследований позволяют утверждать, что гидравлический клапан при правильном выборе его размеров обеспечивает работу сифонного водовыпуска при всех режимах работы станции. Опыт эксплуатации его на ряде НС в течение шести поливных сезонов показал, что он может быть рекомендован для применения с максимальной надежностью.

Список использованных источников

1 Гловацкий, О. Я. Оценки безопасности и повышение надежности эксплуатации гидротехнического узла крупных насосных станций / О. Я. Гловацкий, Н. Р. Насырова, Р. Р. Эргашев // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 2(62). – С. 108–113.

2 Гловацкий, О. Я. Новые методы повышения достоверности количественной оценки надежности эксплуатации объектов систем машинного водоподъема / О. Я. Гловацкий, Р. Р. Эргашев, Ш. Р. Рустамов // Мелиорация и проблемы восстановления сельского хозяйства России: Междунар. науч.-практ. конф. (Костяковские чтения) / ВНИИГиМ, Россельхозакадемия. – М., 2013. – С. 372–376.

3 Гловацкий, О. Я. Совершенствование сифонных водовыпусков насосных станций с гидравлическими устройствами срыва вакуума / О. Я. Гловацкий, М. А. Шомайрамов // Сборник научных трудов, посвященный 25-летию Межгосударственной координационной водохозяйственной комиссии Центральной Азии. – Ташкент, 2017. – С. 160–166.

4 Henli, E. Reliability of technical systems and risk assessment / E. Henli, Kh. Kumatamoto. – М.: Mashinostroenie, 1984. – 528 p.

5 Glovatsky, O. Ya. Improvement to usages and studies large pumping station: Monograph / O. Ya. Glovatsky, R. R. Ergashev, Sh. R. Rustamov. – Saarbruken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 170 p.

УДК 631.42.001.57

А. А. Белоусов, А. В. Шевченко

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ МИГРАЦИИ СОЛЕЙ В ПОЧВОГРУНТАХ И НЕКОТОРЫЕ ПРАКТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

В настоящей статье рассмотрены вопросы практического применения физико-математических моделей миграции солей, учитывающих обменные процессы и буферность почв. Показывается, что все эти модели гибки и позволяют учитывать практически все факторы, закономерности действия которых известны. Все необходимые для их реализации параметры поддаются определению в полевых и лабораторных условиях.

Ключевые слова: математическое моделирование, солевой режим, конвективная диффузия, почвогрунт, методы прогноза.

A. A. Belousov, A. V. Shevchenko

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

PHYSICAL-MATHEMATICAL MODELS OF SALTS MIGRATION IN SOIL AND SOME PRACTICAL ISSUES OF THEIR APPLICATION

In the present article questions of practical application of physical-mathematical models of salts migration taking into account exchange processes and soil buffering capacity are considered. It is shown that all these models are flexible and allow us to take into account practically all factors whose laws of action are known. All parameters necessary for their implementation can be determined under field and laboratory conditions.

Key words: mathematical modeling, salt regime, convective diffusion, soil, forecast methods.

Разработка методов прогноза солевого режима почвогрунтов при мелиорации в зоне орошения является в настоящее время одной из важнейших задач [1]. Практически единственная применяемая на практике методика опирается на уравнение: